

補助事業番号 2022M-289

補助事業名 2022年度 微細粒子及び界面活性剤分散液中気泡流の流動解明と数値予測  
技術の開発 補助事業

補助事業者名 神戸大学大学院工学研究科 栗本 遼

## 1 研究の概要

微細粒子及び界面活性剤がともに分散している液中における気泡流の流動解明及び数値予測技術開発検討を目的として、水中・微細粒子分散液・界面活性剤分散液・微細粒子及び界面活性剤分散液中気泡流の特性について実験的に調べた。個々の気泡に関する特性(気泡径・気泡アスペクト比)を把握するとともに、気泡流全体の特性(気泡速度分布・ボイド率分布)を把握することで、微細粒子や界面活性剤が分散することによる気泡流全体の変化を個々の気泡に関する特性から考察した。これらのデータを取得するため、本研究では全てのデータを高速度ビデオカメラによって取得した大量の画像の画像処理により得た。実験で用いる気泡塔を薄型とすることで、気泡同士の奥行き方向の重なりを少なくして画像処理を容易にした。実験の結果、微細粒子や界面活性剤が気泡径に大きく影響を及ぼしており、平均気泡径の水平方向分布と気泡速度の水平方向分布の傾向に相関があることを明らかにした。

## 2 研究の目的と背景

微細粒子及び界面活性剤がともに分散している液中における気泡流は、膜分離活性汚泥法に基づく水処理プラントにおける膜洗浄や好気性微生物の培養、水素と二酸化炭素から合成燃料を製造する根幹技術であるFischer-Tropsch反応をおこなう気泡塔型反応器などにおいて見受けられる。これら工業機器の高性能化を実現するためには、微細粒子及び界面活性剤分散液中気泡流の流動特性を把握する必要がある。微細粒子及び界面活性剤は個々の気泡の運動や気泡同士の合体に影響を及ぼすことが知られている。特に気泡合体に関して、微細粒子は気泡合体を促進させ、界面活性剤は気泡合体を抑制する報告例がある。しかし、微細粒子及び界面活性剤が混在する場合の気泡合体に関しては知見がない。また、気泡流は個々の気泡から構成されるため、気泡流の詳細把握のためには個々の気泡の特性を把握する必要がある。そこで本研究では微細粒子及び界面活性剤分散液中気泡流に関して、内部流動が可視化可能な小規模装置内の気泡流について高速度ビデオカメラにより多数の画像を取得し、個々の気泡特性と気泡流全体特性の相関について解明することを目的とした。さらに、流動を予測するための数値予測技術の開発を目的とした。

### 3 研究内容(<https://www.lab.kobe-u.ac.jp/eng-mfd/doc/jka2022m289.pdf>)

#### (1) 水中・微細粒子分散液中・界面活性剤分散液中・微細粒子及び界面活性剤分散液中気泡流実験

図1に実験装置を示す。実験装置は幅240 mm, 奥行き10 mm, 高さ1200 mmの気泡塔であり, 下部に設けた12本のステンレスノズルより気泡を発生させた。気相の流量はマスフローコントローラにより調整した。水には純水製造装置により精製されたものを用い, 微細粒子には平均粒子径が60  $\mu\text{m}$ のシリカ粒子, 界面活性剤にはTriton X-100を用いた。

図2に水中(Water)・微細粒子分散液中(Slurry)・界面活性剤分散液中(Surfactant)・微細粒子及び界面活性剤分散液中(Slurry + Surfactant)における気泡流の外観を示す。微細粒子や界面活性剤の影響により気泡流の変化が確認できる。

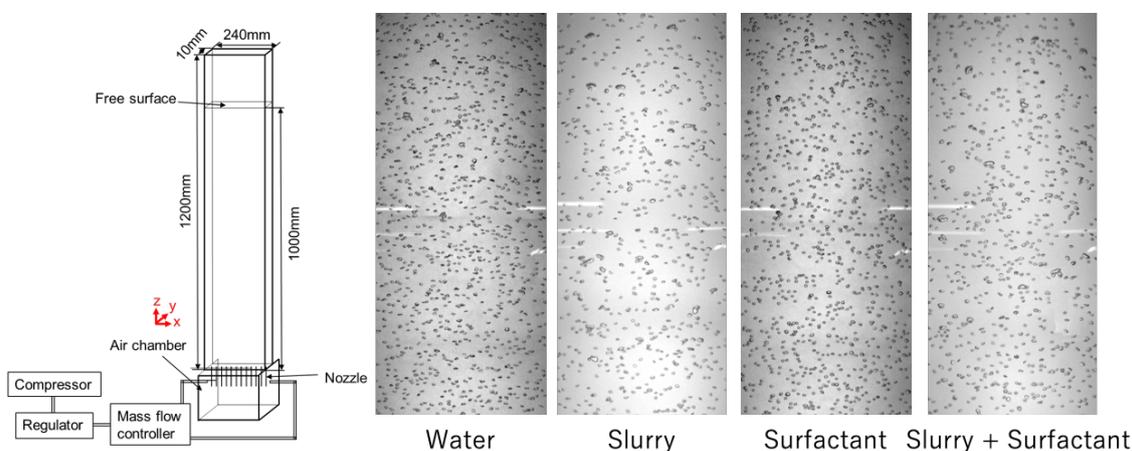


図1 実験装置

図2 気泡流外観

#### (2) 考察及び数値予測技術開発の検討

図3は画像処理により算出した各気泡の気泡径を基に, 水平方向位置において平均気泡径を算出したものである。微細粒子分散液中において, 水中よりも平均気泡径が大きいと、微細粒子影響により気泡同士の合体が促進されていると言える。壁面から40-80 mm程度離れた領域における平均気泡径が大きく, 中心領域では少し平均気泡径が小さく, 壁面近傍では平均気泡径が大きく減少している。微細粒子及び界面活性剤分散液中において, 微細粒子分散液中の分布と同様の傾向を示しているが, 全体的に少し小さい気泡径となっている。これは微細粒子の影響により気泡同士の合体は発生しているものの, 界面活性剤の影響により気泡同士の合体が阻害される場合があると考えられる。

図4に水中・微細粒子分散液中・微細粒子及び界面活性剤分散液中における気泡速度の水平方向分布を示す。微細粒子分散液中において, 壁面から40-80 mm程度離れた領域における気泡速度が大きくなっており, これはこの領域通過する気泡径が大きいためであると言える。つまり, 壁面から少し離れた領域において気泡合体が発生し, 気泡径が大きくなることで気泡速度が大きくなっていると考えられる。微細粒子及び界面活性剤分散液中においても微細粒

子分散液中に近い速度分布となっており、気泡同士の合体による速度増加が要因であると言える。

また、瞬時の気泡アスペクト比を既存の気泡アスペクト比相関式と比較した結果、条件により若干異なるものの清浄系における気泡アスペクト比相関式と汚染系における気泡アスペクト比相関式の間にてデータが分散した。このことは、数値予測技術において気泡アスペクト比に基づく抗力係数相関式を用いる場合に、これらの相関式が適用できる可能性があることを示唆している。

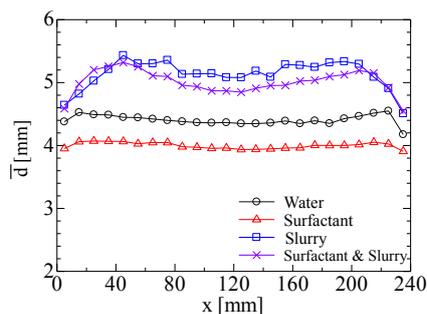
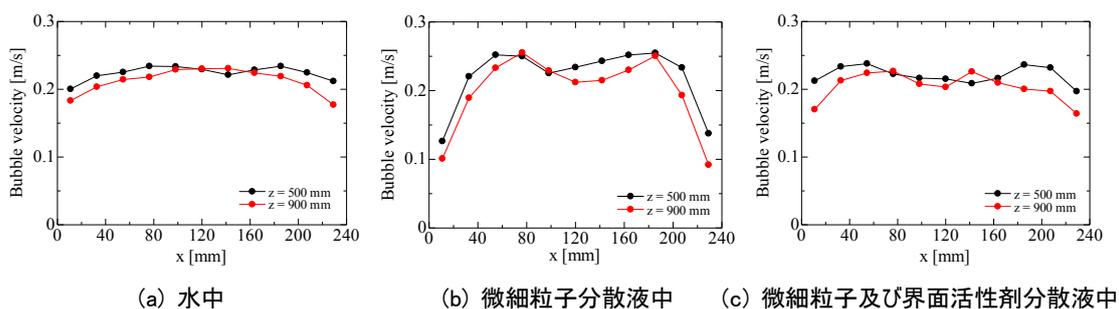


図3 平均気泡径の水平方向分布



(a) 水中

(b) 微細粒子分散液中

(c) 微細粒子及び界面活性剤分散液中

図4 気泡速度の水平方向分布

#### 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

水素と二酸化炭素から合成燃料を製造する根幹技術であるFischer-Tropsch反応をおこなう気泡塔型反応器や膜分離活性汚泥法に基づく水処理プラント内の流動把握は、合成燃料製造コストや水処理プラントのランニングコスト低減に必要不可欠である。本研究の実施により、微細粒子及び界面活性剤がともに分散する液中においては、微細粒子による気泡合体促進効果が界面活性剤により阻害される傾向が明らかとなった。またその結果、気泡塔内流動の変化を確認した。この結果は、数値計算において微細粒子及び界面活性剤がともに分散する液中の場合には気泡合体モデルの修正が必要であることを示唆している。今後、気泡合体モデルの検討により流動予測を可能にする予定であり、その成果は上記工業システムの設計開発に対して有益であると考えられる。

## 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究代表者はこれまで実験および数値計算を用いて混相流に関する研究を実施してきた。本補助事業は、気泡流に及ぼす微細粒子や界面活性剤の影響を明らかにすることを目的としていることから、これまでの混相流に関する研究歴を基礎としている。そして、個々の気泡特性及び気泡流全体の特性を画像処理によるデータ取得に基づいて議論する点は学術的に新規性があり、本研究は昨今注目されている気泡塔型反応器や膜分離活性汚泥法の効率化に資する研究であることから、今後も継続して研究を実施していく。

## 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

### <講演論文>

- ・ R. Kurimoto, S. Horita, K. Hayashi, A. Tomiyama, Effects of fine particles and surfactant on bubbly flows in narrow rectangular column, ASME-JSME-KSME Joint Fluids Engineering Conference, 1 page, 2023.
- ・ S. Horita, R. Kurimoto, K. Hayashi, A. Tomiyama, Effects of surfactant on bubbly flow in narrow rectangular column, 12th International Symposium Measurement Techniques for Multiphase Flow, 3 pages, 2023.
- ・ 片山大輔, 栗本遼, 林公祐, 富山明男, 微細粒子及び界面活性剤が気泡流構造に及ぼす影響に関する研究, 日本機械学会関西支部第98期定時総会講演会, 1 page, 2023.

## 7 補助事業に係る成果物

### (1)補助事業により作成したもの

特になし

### (2)(1)以外で当事業において作成したもの

特になし

## 8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 神戸大学大学院工学研究科(コウベダイガクダイガクインコウガクケンキュウカ)

住 所: 〒657-8501

神戸市灘区六甲台町1-1

担 当 者: 助教 栗本 遼(クリモト リョウ)

担 当 部 署: 機械工学専攻混相流工学研究分野(キカイコウガクセンコウコンソウリュウコウガクケンキュウブンヤ)

E - m a i l: kurimoto@mech.kobe-u.ac.jp

U R L: <http://www.lab.kobe-u.ac.jp/eng-mfd/>